

Aufbau und Betrieb eines Prüfstandes zur Verschleißfestigkeitsprüfung von Zahnwellen-Verbindungen

Hua, Q.; Ring, C.

Eine der am häufigsten eingesetzten formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen ist die Zahnwellen-Verbindung mit Evolventenprofil. Sie dient hauptsächlich der reinen Drehmomentübertragung. Die vorwiegenden Ausfallursachen dieses Maschinenelements sind der Dauerbruch und der Verschleiß. Um die Einflüsse von unterschiedlichen Schmierstoffen (Fett, Öl) sowie einer Beschichtung der Zahnflanken auf die Verschleißfestigkeit von Zahnwellen-Verbindungen zu untersuchen, wurde am IMW ein Verspannungsprüfstand aufgebaut. Die an diesem Prüfstand zu prüfenden Zahnwellen-Verbindungen sind mit einer konstanten Lastkombination von Drehmoment und Querkraft belastet.

The connection with involuted spline is one of the mostly used form-locking machine elements to transmit torque primary. Fatigue and wear are the main damage forms of this kind of connection. A testing bay was constructed at IMW to study the influence of different lubricants (grease and lube) on the wear resistance of the spline. The tested connections are under a constant combination of the loads from torque and radial force.

1 Prüfstandsaufbau

Der Prüfstand ist als Verspannungsprüfstand ausgeführt, wie er gewöhnlicherweise zur Untersuchung von Zahnrädern und Elementen der Drehmomentübertragung verwendet wird. Dazu gehören die zwei Wellenstränge, der Prüfwellenstrang und der Verdrillstrang, **Bild 1**. Im Prüfwellenstrang sind zwei zu untersuchende Zahnwellen-Verbindungen (1) eingespannt. Diese sind über zwei Lagerblöcke und zwei drehsteife Kupplungen (2), die einen während des Betriebes auftretenden radialen und axialen Versatz ausgleichen können, miteinander verbunden. Der

Prüfwellenstrang stellt in diesem Falle eine Drehmomentkopplung zwischen den Prüfverbindungen her. Durch die aufwändige Gestaltung mit zwei Lagerblöcken können die beiden Prüfverbindungen, die gleichzeitig im Prüfstand laufen, mit unterschiedlichen Querkraftbelastungen gefahren werden und beeinflussen sich so gegenseitig nicht.

Im Verdrillstrang befindet sich ein hydraulischer Verspannmotor (3), dessen Aufgabe darin besteht, ein gleichbleibendes Drehmoment von 560 Nm zur Verfügung zu stellen. Über ein Druckregelventil am Hydraulikaggregat (4) wird der Öldruck im Verspannmotor und damit das Torsionsmoment während der Versuchsdauer konstant gehalten. Die beiden Wellenstränge sind über zwei einstufige Stirnradgetriebe (5) miteinander gekoppelt und bilden somit einen geschlossenen Torsionsverspannkreis. Das zum Rotieren des gesamten Verspannkreises benötigte Antriebsmoment wird von einem Elektomotor (6) über einen Riementrieb zur Verfügung gestellt. Durch den Riementrieb wird eine Übersetzung realisiert, so dass die zu untersuchenden Verbindungen mit einer Drehzahl von 1441 min^{-1} rotieren.

Die Querkraftaufbringung erfolgt, wie bereits in den FVA-Vorgängervorhaben, durch Spindelhubgetrie-

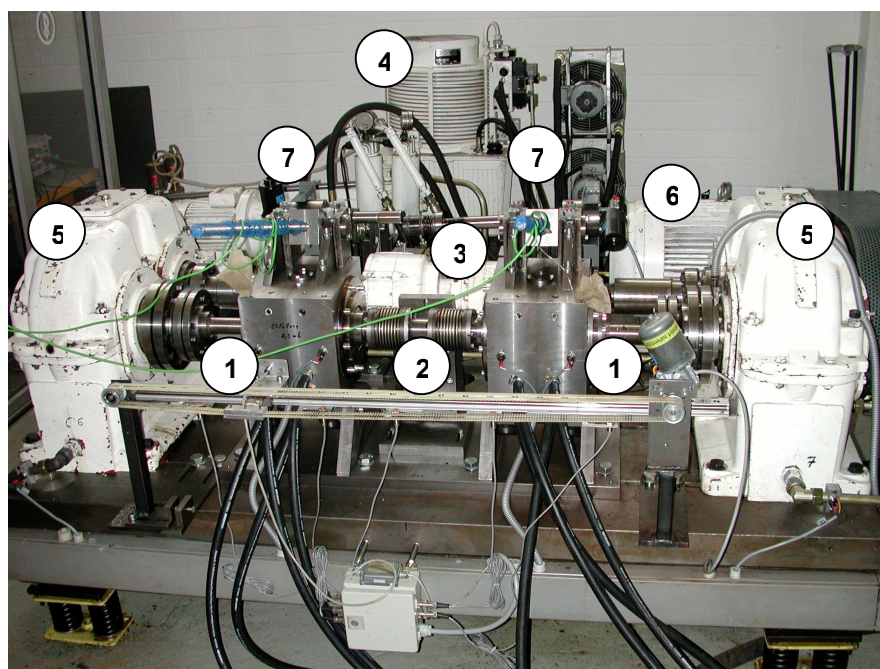


Bild 1: Prüfstand zur Verschleißprüfung an Zahnwellen

be (7). Mit den Spindelhubgetriebe verbundene Kraft-messdosen erlauben die permanente Erfassung der Querkkräfte, sowie deren Regelung über eine SPS und die Protokollierung mit Hilfe eines Messwerterfassungsrechners. Die eingebrachte Querkraft auf die Prüfverbindungen wird auf einen konstanten Wert $Q = 5600 \text{ N}$ gehalten.

An den beiden Lagerblöcken wurde eine umlaufende Flüssigkeitskühlung realisiert, die die Verlustleistung der schnell drehenden Wälzlager von den darin laufenden Zahnwellen-Verbindungen abzieht. Die Kühlung wurde konstruktiv so ausgeführt, dass sie die an den Lagerstellen entstehende Wärme am Aussenring der Lager abführt. Erste Versuche ohne Kühlung hatten Oberflächentemperaturen an den beiden Lagerblöcken von über 80°C ergeben. Solche Temperaturbereiche hätten die Untersuchungen der Schmierstoffe in den Zahnwellen-Verbindungen signifikant beeinflusst und mussten daher zu Gunsten einer möglichst konstanten Temperaturführung ausgeschlossen werden. Der berührungslose Temperatursensor erfasst bei der axialen Vorbeifahrt neben den sicherheitsrelevanten Lagertemperaturen auch die für die Versuchsauswertung interessante Wellenkörpertemperatur der Zahnwellen-Verbindung.

Bei der Rotation der Prüflinge tritt eine durch die Querkraft verursachte Relativbewegung zwischen den Flankenpaaren der Welle und der Nabe auf, die Abriebverschleiß an den Zahnflanken der Verbindungen verursacht. Als Folge des Verschleißabtrages der Zahnflanken wird das Spiel zwischen den Zahnflanken vergrößert, wodurch die Exzentrizität zwischen Welle und Nabe anwächst. Die Exzentrizität als Maß für die Länge der Relativbewegung pro Umdrehung wird jeweils pro Verbindung über einen Wegaufnehmer erfasst, **Bild 2**. Die Erfassung der Exzentrizität ist Grundlage für die Auswertung von Verschleißintensitäten, die Grundlage für eine Verschleißabschätzung [2] sind. Die Richtung der Exzentrizität ist im Prüfaufbau durch die Schwenkbewegung entlang der Hubspindel um den Fußlagerpunkt festgelegt. Parallel dazu sind die Wegaufnehmer ausgerichtet.

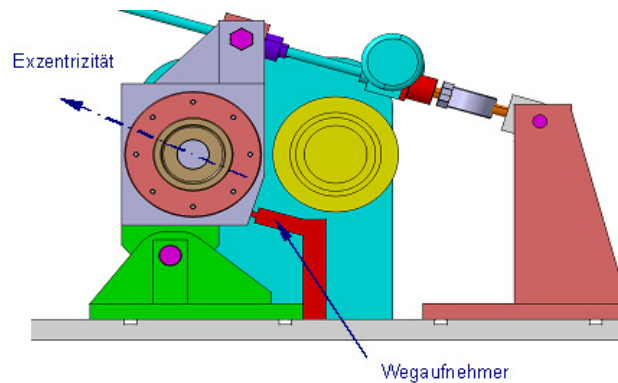


Bild 2: Exzentrizitätsmessung

Im Stillstand können über inkrementale Drehwinkel-aufnehmer die Verdrehspiele der beiden Prüfverbindungen gemessen werden. Zu diesem Zweck wird der Prüfwellenstrang in der Mitte zwischen den beiden Verbindungen gegen Verdrehen fixiert, **Bild 3**. Zuvor müssen die Prüfnaben-Lagerblöcke in Nullstellung zurückgeschwenkt werden, so dass keine radiale Verlagerung mehr zwischen den Wellen- und Nabenachsen besteht.

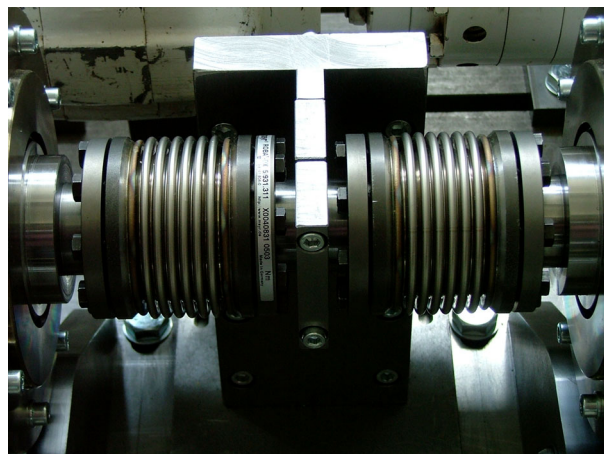


Bild 3: Fixierung des Prüfwellenstrangs in der Mitte für die Verdrehspielmessung

In diesem Referenzzustand wird mittels des hydraulischen Verspannmotors ein Drehmomentwechsel von -560 Nm bis $+560 \text{ Nm}$ durchfahren und gleichzeitig die Verdrehwinkel an den Verzahnungen aufgenommen. Das Spiel ergibt sich dabei aus dem bei annähernd konstantem minimalen Drehmoment zurückgelegten Weg am Teilkreis. Die graphische Auftragung im Koordinatensystem und rechnerische Auswertung ermöglicht die Bestimmung des Verdrehspiels und der Verdrehsteifigkeit. Die Messungen des Flankenspiels werden nicht kontinuierlich, sondern jeweils nach einem Zeitintervall durchgeführt, **Bild 4**.

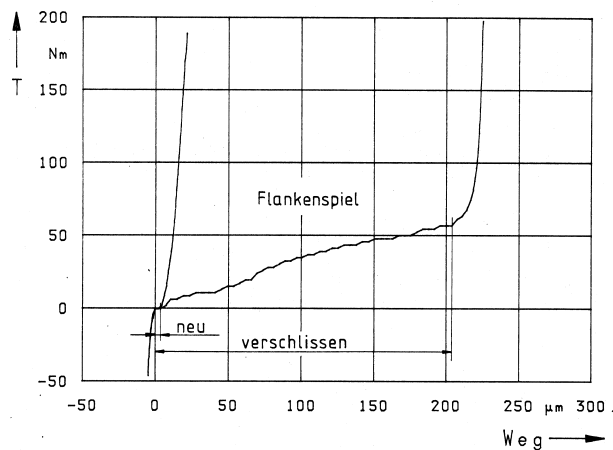


Bild 4: Bestimmung des Flankenspiels /1/

Über einen induktiven Zähler werden die Umdrehungen des Prüfstranges erfasst und in der SPS abgespeichert. Die Aufzeichnung der Umlaufanzahl dient der späteren Darstellung von „Zahndickenabnahme pro Umdrehung“ und „Radialverlagerung = $f(\text{Lastwechselzahl})$ “ etc. im Rahmen der Auswertung.

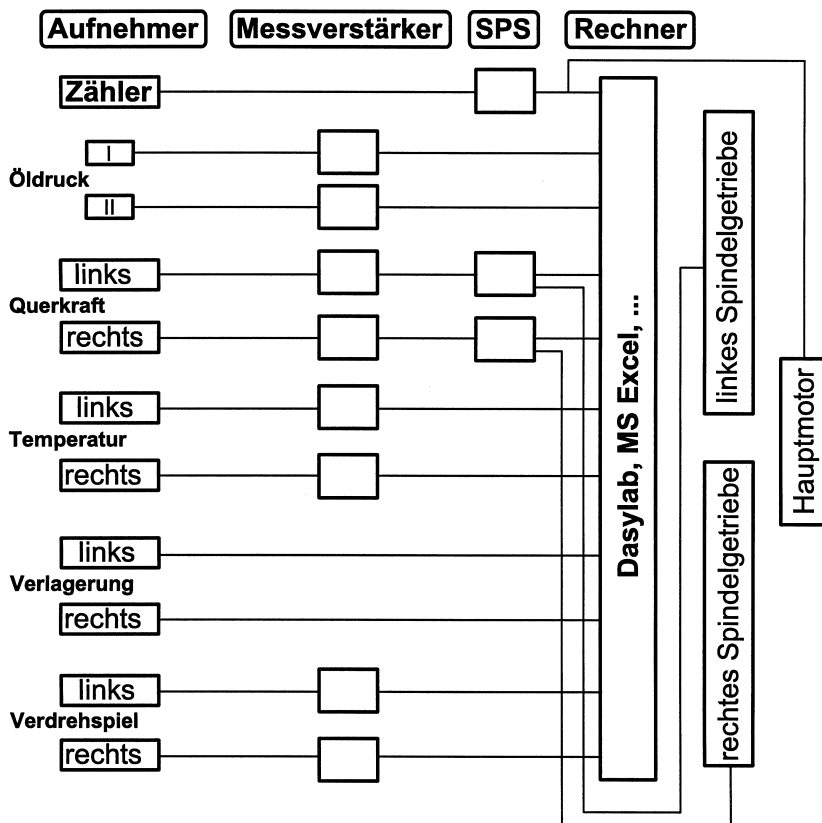


Bild 5: Prinzipieller Aufbau der Messtechnik des Prüfstandes

Die Temperaturmessung der Prüfverbindungen wird kontinuierlich mit dem berührungslosen Temperaturstrahlungsmessgerät durchgeführt. Die Messdaten werden über eine Messwerterfassungskarte in einem PC verarbeitet und dokumentiert.

Bild 5 zeigt den Aufbau des gesamten Mess- und Steuerungssystems des Prüfstandes.

2 Inbetriebnahme

Konstruktive Maßnahmen erlauben eine einfache Montage und ein erleichtertes Wechseln der Prüfverbindungen. Die Naben sind je mit sechs M8-Schrauben an der Nabhülse verschraubt. Da die Verbindung mit Schiebesitz ausgeführt ist, (Passung 9H/8f) sind die Prüfwellen ohne großen axialen Kraftaufwand zu montieren. Vor der Montage werden die beiden Lagerblöcke durch die Spindelhubgetriebe vom Prüfstand weggeschwenkt (siehe **Bild 7**), so dass der notwendige Raum für den axialen Welleneinbau gewährleistet ist. Die Antriebsmotoren der beiden Spindelhubgetriebe können für diesen Vorgang durch eine Zahnwellen-Verbindung synchronisiert werden, damit die beiden drehsteifen Kupplungen bei der Schwenkung der Lagerblöcke keinen unzulässig großen Radialversatz erfahren und so beschädigt werden, **Bild 6**.

Wenn die beiden Prüflinge, die gleichzeitig im Betrieb laufen, mit verschiedenen Schmierstoffen gefahren werden, kann ein unterschiedlicher Verschleiß an den Flankenpaaren auftreten. Dadurch würde sich eine Differenz bei den Radialverlagerungen der beiden Prüfverbindungen einstellen. Da die zwei drehsteifen Kupplungen im Prüfwellenstrang einen maximalen Radialversatz von 4,6 mm nicht überschreiten dürfen, muß dieser extreme Fall durch ein Abschaltkriterium berücksichtigt werden. Eine mögliche Maßnahme ist die Installation von zwei Endschaltern seitlich an den Lagerblöcken, die im Gefahrenfall die Antriebe des Prüfstandes ausschalten. Dabei ist nicht zu erwarten, dass selbst die durch maximalen Verschleiß an den Zahnflanken bis zum Ende der jeweiligen Prüfdauer verursachte Schwenkung eines Lagerblockes

den obigen Schwenkbereich von 4,6 mm überschreitet.

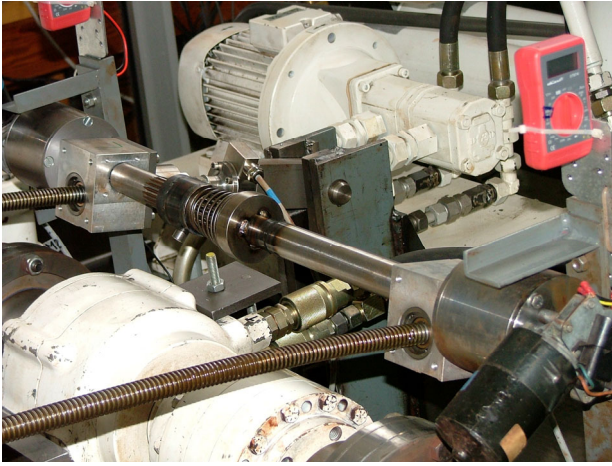


Bild 6: Synchronisierung der Spindelhubgetriebe mittels Zahnwellen-Verbindung

Ein Zurückschwenken der beiden Lagerblöcke erfolgt durch die Spindelhubgetriebe. Die Nullstellung der Lagerblöcke wird durch die Wegaufnehmer erfasst. In Nullstellung können die beiden Prüfwellen aus den Nabhülsen kraftfrei ausgeschoben und mit den Spannscheiben an den Getriebewellen eingespannt werden, Bild 7.

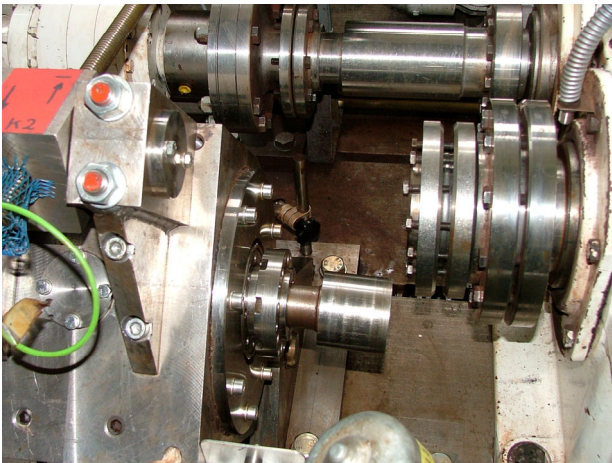


Bild 7: Montage der Prüflinge

3 Exemplarisches Ergebnis der Untersuchungen

Eine der geprüften Zahnwellen-Verbindungen im Rahmen der Untersuchungen zur Verschleißfestigkeitsprüfung unter Verwendung von Schmiermitteln ist in **Bild 8** zu sehen. Auf den Zahnflanken sind die dunklen Abriebpartikel in Form von Reibrost deutlich zu erkennen. Da die Verbindungen durch eine Lastkombination mit einem ideellen Radius von $R_f = 100 \text{ mm}$ belastet wurde, ist ein Umschlagen der Lastflanken ausgeschlossen und es kommt zu einem praxisnahen Verschleißbild, das zunächst durch Reiboxidation und am Ende der Lebensdauer durch Flankenmaterial-Ermüdungsschäden gekennzeichnet ist. Die in **Bild 8** und **Bild 9** darge-

stellte Welle bzw. Nabe wurde als Referenzverschleißfall ohne Verwendung eines Schmierstoffes eingesetzt.

Durch den Einsatz von Schmierstoffen sowie Oberflächenbeschichtungen kann das Verschleißverhalten an den Prüflingen deutlich beeinflusst werden. Ein Beispiel dafür ist die Verschleißminderung durch die Ölschmierung /1, 2/. Im Rahmen der aktuell laufenden Untersuchungen für die Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA), werden die aktuellen Möglichkeiten zur Verschleißreduzierung an diesem Prüfstand weiter untersucht.



Bild 8: Ungeschmiert untersuchte Welle



Bild 9: Ungeschmiert geprüfte Nabe

4 Literatur

- /1/ Zapf, R.: Betriebs und Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellen-Verbindungen mit Schiebesitz. Dissertation, TU Clausthal 1986
- /2/ Schäfer, G.: Der Einfluß von Oberflächenbehandlungen auf das Verschleißverhalten flankenzentrierter Zahnwellen-Verbindungen mit Schiebesitz. Dissertation, TU Clausthal 1995